六种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的毒性及风险评估

袁　锐，李丽莉，李　超，夏小菊，郑　礼，于　毅，门兴元*

（山东省农业科学院植物保护研究所，山东省植物病毒学重点实验室，济南 250100）

摘要：【目的】为评价新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂 *Osmia excavata* 的毒性和风险性。【方法】分别采用饲喂法和接触法测定了啶虫脒、噻虫嗪、氟啶虫胺腈、吡虫啉、噻虫胺、呋虫胺6种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂雌成蜂的24 h和48 h的急性经口和接触毒性。并依据农药对蜜蜂生态风险的危害熵值(hazard quotient, HQ)评估其对凹唇壁蜂的风险性。【结果】经口毒性测定中，氟啶虫胺腈对凹唇壁蜂雌蜂毒性最高，噻虫嗪毒性最低；接触毒性测定中，噻虫胺对凹唇壁蜂雌蜂毒性最高，氟啶虫胺腈毒性最低。啶虫脒、噻虫嗪、吡虫啉对凹唇壁蜂表现为中等风险；噻虫胺经对凹唇壁蜂表现为高风险。氟啶虫胺腈和呋虫胺经接触途径表现为中等风险，而经口途径表现为高风险。【结论】本研究所选的6种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂雌成蜂的毒性均为高毒。在果园中应尽量避免使用噻虫胺、氟啶虫胺腈及呋虫胺，在植物花期谨慎使用啶虫脒、噻虫嗪、吡虫啉等新烟碱类杀虫剂。

关键词：凹唇壁蜂；新烟碱类杀虫剂；毒性；饲喂法；接触法；风险评估

中图分类号：Q965.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2018)08-0950-07

Toxicity and hazard assessment of six neonicotinoid insecticides on *Osmia excavata* (Hymenoptera: Megachilidae)

YUAN Rui, LI Li-Li, LI Chao, XIA Xiao-Ju, ZHENG Li, YU Yi, MEN Xing-Yuan* (Key Laboratory for Plant Virology of Shandong, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: 【Aim】This study aims to assess the toxicity and hazard of six neonicotinoid insecticides to *Osmia excavata*. 【Methods】The acute oral and contact toxicities of six neonicotinoid insecticides, *i. e.*, acetamiprid, thiamethoxam, sulfoxaflor, imidacloprid, clothianidin and dinotefuran, to the female adults of *O. excavata* at 24 h and 48 h after treatment were measured by feeding application and topical application methods, respectively. The risk of insecticides to *O. excavata* was assessed based on the hazard quotient (HQ) values of the ecological risk of insecticides to bees. 【Results】In oral toxicity assay, sulfoxaflor showed the highest toxicity to the female adults of *O. excavata* while thiamethoxam showed the lowest toxicity. In contact toxicity assay, clothianidin showed the highest toxicity to the female adults of *O. excavata*, while sulfoxaflor showed the lowest toxicity. Acetamiprid, thiamethoxam and imidacloprid presented medium risk to *O. excavata*, while clothianidin presented high risk. And sulfoxaflor and dinotefuran presented medium risk to *O. excavata* by contact but high risk by oral exposure. 【Conclusion】The six neonicotinoid insecticides assessed in this study present high risk to the female adults of *O. excavata*. It should be cautious to use acetamiprid, thiamethoxam and imidacloprid during florescence, and the use of clothianidin, sulfoxaflor and dinotefuran should be avoided in the orchard.

基金项目：山东省现代农业产业技术体系蜂产业创新团队；山东省重点研发计划(2017CXGC0214)；山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2016A09)

作者简介：袁锐，男，1992年4月生，山东淄博人，硕士，主要从事昆虫生态方向的研究，E-mail：yuanruiafk@163.com

*通讯作者 Corresponding author, E-mail: menxy2000@hotmail.com

收稿日期 Received: 2018-01-02；接受日期 Accepted: 2018-05-29

Key words: *Osmia excavata*; neonicotinoid insecticide; toxicity; feeding application; topical application; hazard assessment

新烟碱类杀虫剂是一类新型农药,因具有高效率、高选择性、高持效性、对哺乳动物低毒等特点而被广泛应用于农业生产中。大量使用会造成农田农药残留过高,靶标害虫产生抗性,成为危害生态安全的潜在因素(Elbert *et al*., 2008),如吡虫啉的大量应用使得蚜虫的抗性问题十分严重(崔丽等, 2016)。除了引起靶标害虫抗性增加外,这类杀虫剂对非靶标生物也存在一定影响。有研究表明,呋虫胺等 4 种新烟碱类杀虫剂对家蚕的毒性很强(于彩虹等, 2017),吡虫啉、啶虫脒、烯啶虫胺对蚯蚓的毒性属于中毒(王彦华等, 2010)。

凹唇壁蜂 *Osmia excavata* 属于切叶蜂科(Megachilidae)壁蜂属 *Osmia*。相较于其他传粉昆虫,具有抗低温、访花速度快、授粉能力强、提高坐果率、利用人工巢管营巢繁衍后代等特点,是北方苹果、梨等果园中的一种重要传粉昆虫(徐环李等, 1994; 魏树伟等, 2012; 丁楠等, 2013)。蜜蜂在采集花粉及花蜜、筑巢及返巢过程中不可避免地接触到环境中的农药,对蜂群健康和农作物授粉产生影响(李贝贝等, 2016)。国外研究发现,角额壁蜂 *Osmia cornuta* 幼虫阶段接触螺虫乙酯会显著缩短成虫寿命(Sgolastra *et al*., 2015),异菌脲等杀菌剂对蜜蜂的筑巢返巢等行为存在一定影响(Ladurner *et al*., 2008)。相比较而言,新烟碱类杀虫剂产生的影响更加严重,如经常暴露于啶虫脒等多种农药环境中的西方蜜蜂 *Apis mellifera*,其嗅觉记忆和学习功能会受到损害,飞行能力降低,降低传粉效率(El Hassani *et al*., 2008; Williamson and Wright, 2013; Tosi *et al*., 2017)。

新烟碱类杀虫剂在我国北方果园、菜园以及粮油作物上登记并大面积使用,目前国内研究已对蜜蜂的生态风险性进行了系统评估(赵怡楠等, 2014),但缺少与北方果园中主要传粉昆虫凹唇壁蜂相关的生态风险评估。为了明确新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的影响,本试验采用饲喂法和接触法测定新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的毒性,并通过其危害熵值(hazard quotient, HQ)评价了它们对凹唇壁蜂的生态风险,为苹果、桃、梨等果园及周围农田安全合理选择和使用新烟碱类杀虫剂提供科学依据,以避免或减轻凹唇壁蜂在传粉时被农药杀伤,同时为我国开展新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的安全性评价提供参考。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

凹唇壁蜂蜂管由山东省农业科学院植物保护研究所提供,蜂茧在温度 25 ± 1℃,光周期 16L: 8D, RH 70% ± 10% 的室内恢复活性,选择大小基本一致、活力强的成蜂进行生物测定。由于凹唇壁蜂雄蜂没有腹毛刷,不参与采蜜活动(魏永平等, 2000),因此只选择雌蜂作为实验材料。

1.2　供试药剂

20% 啶虫脒可溶性粉剂(浙江海正化工股份有限公司);25% 噻虫嗪水分散粒剂(深圳瑞德丰农药有限公司);50% 氟啶虫胺腈水分散粒剂(美国陶氏益农公司);10% 吡虫啉可湿性粉剂(浙江海正化工股份有限公司);48% 噻虫胺悬浮剂(美国富美实FMC 公司);95.57% 呋虫胺原药(苏州市奥特莱化工有限公司)。5 种制剂和原药分别用 50% 蔗糖水和丙酮(分析纯,≥99.5%)配制成浓度为 100 mg/L 的母液于 4℃ 冰箱中保存备用。

1.3　新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的毒力测定

参考我国《化学农药环境安全评价试验准则, 第 10 部分:蜜蜂急性毒性试验》(袁善奎等, 2014),将农药对凹唇壁蜂的毒性划分 4 个等级(以有效成分计):低毒(LD_{50} > 11.0 μg a. i./蜂);中毒(2.0 μg a. i./蜂 < LD_{50} ≤ 11.0 μg a. i./蜂);高毒(0.001 μg a. i./蜂 < LD_{50} ≤ 2.0 μg a. i./蜂);剧毒(LD_{50} ≤ 0.001 μg a. i./蜂)。试验在温度 25 ± 1℃,相对湿度 70% ± 10%,黑暗条件下进行。

1.3.1　急性经口毒性:用 50% 的蔗糖水溶液将蔗糖水配制的母液稀释成梯度的 5 个浓度(表 1),按每头蜂取食 10 μL 的量在饲喂器中加入不同浓度的药剂 100 μL,将饥饿处理 1 h 的 1 日龄成蜂移入蜂笼,每个蜂笼 10 头成蜂,每个处理重复 3 次,并设 50% 蔗糖水为空白对照。在饲喂 4 h,待药剂消耗完后添加充足 50% 蔗糖水继续饲养,记录 24 h 和 48 h 凹唇壁蜂死亡数,计算凹唇壁蜂死亡率。

1.3.2　急性接触毒性:用丙酮将丙酮配制的母液稀释成梯度的 5 个浓度(表 1)。用微量点滴仪(BS00279, Burkard)将不同浓度的供试药剂1 μL点

表 1 本研究所用药剂浓度
Table 1 Test dosages of insecticides used in this study

处理方法 Treatment methods	供试药剂 Tested insecticides	供试剂量(μg a. i. /μL) Test dosage				
饲喂法 Feeding application	啶虫脒 Acetamiprid	0.04	0.02	0.01	0.005	0.0025
	噻虫嗪 Thiamethoxam	0.08	0.04	0.02	0.01	0.005
	氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	0.02	0.01	0.005	0.0025	0.00125
	吡虫啉 Imidacloprid	0.02	0.01	0.005	0.0025	0.00125
	噻虫胺 Clothianidin	0.02	0.01	0.005	0.0025	0.00125
	呋虫胺 Dinotefuran	0.02	0.01	0.005	0.0025	0.00125
接触法 Topical application	啶虫脒 Acetamiprid	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025
	噻虫嗪 Thiamethoxam	0.2	0.1	0.05	0.025	0.0125
	氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	0.2	0.1	0.05	0.025	0.0125
	吡虫啉 Imidacloprid	0.2	0.1	0.05	0.025	0.0125
	噻虫胺 Clothianidin	0.05	0.025	0.0125	0.00625	0.003125
	呋虫胺 Dinotefuran	0.2	0.1	0.05	0.025	0.0125

滴在凹唇壁蜂中胸背板处,待蜂身晾干后转入蜂笼中,用充足 50% 蔗糖水饲喂,每个蜂笼 10 头成蜂,每个处理重复 3 次,并设丙酮为空白对照。记录24 h 和 48 h 凹唇壁蜂死亡数,计算凹唇壁蜂死亡率。

1.4 新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的风险评估

新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的风险评估参照欧洲和地中海植物保护组织(EPPO, 2000)所采用的危害熵(hazard quotient, HQ)值。HQ 值为农药田间推荐用量(AR)(g a. i. /hm^2)与农药对凹唇壁蜂急性经口或接触 LD_{50}(μg a. i. /蜂)值的比值:HQ = AR/LD_{50}。HQ > 2 500,高风险;50 < HQ ≤ 2 500,中等风险;HQ ≤ 50,低风险。本研究分别采用饲喂法和接触法测得的 48 h 的 LD_{50} 计算 HQ 值,田间推荐剂量按照已在我国农业部登记的同一有效成分田间推荐用量的最大范围来计算。

1.5 数据分析

利用统计软件 SPSS19.0 软件对实验内容所得数据进行统计分析,计算出毒力回归方程并获得致死中剂量 LD_{50} 及 95% 置信区间。

2 结果

2.1 6 种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂雌性成蜂的急性经口毒性

由表 2 结果可知,通过饲喂法测定的 6 种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂雌成蜂 24 h 毒性大小顺序分别为:氟啶虫胺腈 > 噻虫胺 > 呋虫胺 > 吡虫啉 > 啶虫脒 > 噻虫嗪, LD_{50} 分别为 0.0398, 0.1044, 0.1085, 0.1358, 0.2383 和 0.4256 μg a. i. /蜂;对凹唇壁蜂雌成蜂 48 h 毒性大小顺序分别为:氟啶虫胺腈 > 吡虫啉 > 噻虫胺 > 呋虫胺 > 啶虫脒 > 噻虫嗪, LD_{50} 分别为 0.0064, 0.0122, 0.0161, 0.0229, 0.0574 和 0.1220 μg a. i. /蜂(表 2)。无论是测定 24 h 还是 48 h,氟啶虫胺腈都表现出了最高毒性,噻虫嗪则表现出了最低毒性。6 种新烟碱类杀虫剂 24 h的 LD_{50} 均大于 48 h 的 LD_{50},参照袁善奎等(2014)中农药对蜜蜂急性毒性分级标准,啶虫脒、噻虫嗪、氟啶虫胺腈、吡虫啉、噻虫胺、呋虫胺对凹唇壁蜂雌成蜂 24 h 和 48 h 的急性经口毒性均为高毒。

2.2 6 种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂雌性成蜂的急性接触毒性

由表 3 结果可知,通过接触法测定的 6 种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂雌成蜂 24 h 毒性大小顺序分别为:噻虫胺 > 噻虫嗪 > 呋虫胺 > 啶虫脒 > 吡虫啉 > 氟啶虫胺腈, LD_{50} 分别为 0.0120, 0.0548, 0.1294, 0.1924, 0.6140 和 1.1306 μg a. i. /蜂;对凹唇壁蜂雌成蜂 48 h 毒性大小顺序分别为:噻虫胺 > 噻虫嗪 > 吡虫啉 > 呋虫胺 > 啶虫脒 > 氟啶虫胺腈, LD_{50} 分别为 0.0095, 0.0351, 0.0608, 0.0853, 0.1529 和 0.1629 μg a. i. /蜂(表 3)。无论是测定 24 h 还是 48 h,噻虫胺都表现出了最高毒性,氟啶虫胺腈则表现出了最低毒性。6 种新烟碱类杀虫剂 24 h的 LD_{50} 均大于 48 h 的 LD_{50},参照《化学农药环境安全评价试验准则》中农药对蜜蜂急性毒性分级标准,啶虫脒、噻虫嗪、氟啶虫胺腈、吡虫啉、噻虫胺、呋虫胺对凹唇壁蜂雌成蜂 24 h 和 48 h 的急性接触毒性均为高毒。

表 2　6 种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂雌性成蜂的急性经口毒性

Table 2　Acute oral toxicity of six neonicotinoid insecticides to female adults of *Osmia excavata*

处理时间(h) Treatment time	供试药剂 Tested insecticides	毒力回归方程 Toxicity regression equation	卡方值 Chi-square value	相关系数 Correlation coefficient	LD_{50}(95% CL) (μg a. i. /bee)	毒性等级 Toxicity level
24	啶虫脒 Acetamiprid	$y=0.8392x+3.0052$	5.291	0.9351	0.2383(0.0200 – 2.8448)	高毒 High
	噻虫嗪 Thiamethoxam	$y=0.9750x+2.4367$	6.166	0.9085	0.4256(0.0503 – 3.6032)	高毒 High
	氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	$y=1.0872x+3.2607$	12.417	0.9033	0.0398(0.0112 – 0.1413)	高毒 High
	吡虫啉 Imidacloprid	$y=0.6957x+3.5163$	5.334	0.8863	0.1358(0.0095 – 1.9385)	高毒 High
	噻虫胺 Clothianidin	$y=0.6709x+3.6466$	6.071	0.8917	0.1044(0.0069 – 1.5712)	高毒 High
	呋虫胺 Dinotefuran	$y=0.8514x+3.2670$	4.665	0.9212	0.1085(0.0101 – 1.1685)	高毒 High
48	啶虫脒 Acetamiprid	$y=0.8750x+3.4612$	7.314	0.9720	0.0574(0.0170 – 0.1932)	高毒 High
	噻虫嗪 Thiamethoxam	$y=0.9056x+3.1107$	4.095	0.9112	0.1220(0.0364 – 0.4088)	高毒 High
	氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	$y=1.8690x+3.4925$	24.345	0.9096	0.0064(0.0048 – 0.0085)	高毒 High
	吡虫啉 Imidacloprid	$y=0.8009x+4.1290$	8.691	0.9312	0.0122(0.0057 – 0.0264)	高毒 High
	噻虫胺 Clothianidin	$y=0.8150x+4.0159$	9.258	0.9405	0.0161(0.0063 – 0.0413)	高毒 High
	呋虫胺 Dinotefuran	$y=0.4504x+4.3871$	10.768	0.9190	0.0229(0.0032 – 0.1624)	高毒 High

CL：置信限 Confidence limit.

表 3　6 种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂雌性成蜂的急性接触毒性

Table 3　Acute contact toxicity of six neonicotinoid insecticides to female adults of *Osmia excavata*

处理时间(h) Treatment time	供试药剂 Tested insecticides	毒力回归方程 Toxicity regression equation	卡方值 Chi-square value	相关系数 Correlation coefficient	LD_{50}(95% CL) (μg a. i. /bee)	毒性等级 Toxicity level
24	啶虫脒 Acetamiprid	$y=1.0900x+2.5102$	5.505	0.9112	0.1924(0.1116 – 0.3317)	高毒 High
	噻虫嗪 Thiamethoxam	$y=2.6886x+0.3261$	22.187	0.9643	0.0548(0.0441 – 0.0680)	高毒 High
	氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	$y=0.7599x+2.6799$	4.176	0.9052	1.1306(0.0999 – 12.7990)	高毒 High
	吡虫啉 Imidacloprid	$y=0.9680x+2.3011$	3.705	0.9725	0.6140(0.1230 – 3.0658)	高毒 High
	噻虫胺 Clothianidin	$y=2.6812x+2.1088$	14.221	0.9330	0.0120(0.0096 – 0.0150)	高毒 High
	呋虫胺 Dinotefuran	$y=1.8171x+1.1621$	6.000	0.9955	0.1294(0.0839 – 0.1997)	高毒 High
48	啶虫脒 Acetamiprid	$y=1.0451x+2.7172$	7.718	0.9640	0.1529(0.0922 – 0.2534)	高毒 High
	噻虫嗪 Thiamethoxam	$y=2.2320x+1.5516$	17.982	0.9653	0.0351(0.0269 – 0.0457)	高毒 High
	氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	$y=0.9512x+2.8961$	9.024	0.9936	0.1629(0.0713 – 0.3720)	高毒 High
	吡虫啉 Imidacloprid	$y=1.4381x+2.4347$	13.479	0.9686	0.0608(0.0427 – 0.0864)	高毒 High
	噻虫胺 Clothianidin	$y=2.4700x+2.5891$	14.178	0.9717	0.0095(0.0074 – 0.0120)	高毒 High
	呋虫胺 Dinotefuran	$y=4.8978x-4.4566$	4.484	0.9285	0.0853(0.0734 – 0.0991)	高毒 High

CL：置信限 Confidence limit.

2.3　6 种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂雌性成蜂的危害熵值

通过饲喂法和接触法测得的 48 h 的 LD_{50} 值计算得到 6 种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的危害熵值(HQ)。由表 4 结果可知,供试的所有制剂经口和接触途径 HQ 值均大于 50,其中噻虫胺经口和接触毒性、呋虫胺经口毒性 HQ 值大于 2 500,氟啶虫胺腈经口毒性 HQ 值基本大于 2 500。这表明啶虫脒、噻虫嗪、吡虫啉经两种途径,氟啶虫胺腈和呋虫胺经接触途径对凹唇壁蜂为中等风险;噻虫胺经两种途径,氟啶虫胺腈和呋虫胺经口途径对凹唇壁蜂为高风险,氟啶虫胺腈只有在施药量极少的地区为中等风险。

3　结论与讨论

在本研究中分别采用了饲喂法和接触法对凹唇壁蜂雌性成蜂进行了毒性测定,在时间节点上选择了 24 h 和 48 h 两个处理。结果显示,选择的 6 种新烟碱类杀虫剂不论采用何种方法何种处理时间，测

表 4 6 种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的危害熵值

Table 4 Hazard quotient values of six neonicotinoid pesticides to female adults of *Osmia excavata*

供试药剂 Tested pesticides	田间推荐剂量 AR (g a. i. /hm^2)	试验类型 Test type	LD$_{50}$ (μg a. i. /bee)	危害熵值 HQ value
啶虫脒 Acetamiprid	36 – 42	经口 Oral	0.0574	627.2 – 731.7
		接触 Contact	0.1529	235.4 – 274.7
噻虫嗪 Thiamethoxam	11.25 – 14	经口 Oral	0.1220	92.2 – 114.8
		接触 Contact	0.0351	320.5 – 398.9
氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	15 – 97.5	经口 Oral	0.0064	2 343.8 – 15 234.4
		接触 Contact	0.1629	92.1 – 598.5
吡虫啉 Imidacloprid	15 – 30	经口 Oral	0.0122	1 229.5 – 2 459.0
		接触 Contact	0.0608	246.7 – 493.4
噻虫胺 Clothianidin	43.2 – 57.6	经口 Oral	0.0161	2 683.2 – 3 577.6
		接触 Contact	0.0095	4547.4 – 6063.2
呋虫胺 Dinotefuran	60 – 150	经口 Oral	0.0229	2 620.1 – 6 550.2
		接触 Contact	0.0583	703.4 – 1 758.5

HQ 值为农药田间推荐用量与农药对凹唇壁蜂急性经口或接触 LD$_{50}$ 值的比值。HQ value is the ratio of the field recommended dose to the LD$_{50}$ value by oral or direct contact exposure.

定的毒性均为高毒。这也表明所选的 6 种新烟碱类杀虫剂对非靶标生物凹唇壁蜂存在严重影响。两种方法测得的药剂毒性次序不同,其中通过饲喂法测定氟啶虫胺腈毒性最高,噻虫嗪毒性最低,但用接触法测定的结果完全相反。这可能是由于氟啶虫胺腈作用于乙酰胆碱受体(nAChR)内的结合位点比较特殊;凹唇壁蜂通过表皮接触途径比取食途径更容易吸收噻虫嗪(Callahan *et al*., 1994)。在处理时间上,这 6 种新烟碱类杀虫剂表现一致,即毒性随着处理时间的延长而升高。由于新烟碱类杀虫剂是一类高效广谱的农药,兼具触杀和胃毒作用,作用迅速、持效期长,因此药剂会在虫体内积累,乙酰胆碱酯酶活性可能会持续受到抑制,药剂毒性随之升高(Elbert *et al*., 2008)。有研究表明,氟啶虫胺腈对地熊蜂的毒性为中毒(周浩等, 2017)。本研究中发现氟啶虫胺腈对凹唇壁蜂的毒性为高毒,这之间的差异可能是由于凹唇壁蜂的虫体比地熊蜂小,造成其对杀虫剂的敏感性更高。同为体型较小的蜜蜂,意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* 和中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* 则与凹唇壁蜂对吡虫啉等新烟碱类杀虫剂的敏感性相近(孟丽峰, 2013; 李梦等, 2017)。总体来说,由于药剂的化学结构不同、乙酰胆碱受体亚基组成不同,个体在环境中的行为不同,从而导致凹唇壁蜂最终的吸收效果不同,使其毒性存在一定差异。

新烟碱类杀虫剂由于其内吸性,苗期施药会在花期时蔓延至整个植株,在蜜蜂采蜜时对其造成影响,例如花粉中残留的吡虫啉、噻虫嗪对西方蜜蜂、欧洲熊蜂 *Bombus terrestris* 的发育有潜在影响(Chauzat *et al*., 2009; Kunz *et al*., 2015)。我们可以通过在植物花期不施药来避免凹唇壁蜂接触,但在植物苗期、营养生长期施药会随植物的生长吸收至植株各部位。目前,啶虫脒、吡虫啉、氟啶虫胺腈等已经苹果上登记用来防治蚜虫等刺吸性害虫,凹唇壁蜂在苹果采集蜜粉时不可避免地接触和取食残留的农药。由于,果树生长周期长,新烟碱类农药被果树吸收后的传导和残留过程,我们尚不清楚,对壁蜂的毒性还需要进行深入评估。根据我们的研究结果,建议果树花前尽量不使用新烟碱类杀虫剂。

凹唇壁蜂一年发生 1 代,3、4 月份破茧陆续出巢活动(徐环李等, 1994),将带有农药残留的花粉团取回巢饲喂下一代,由于新一代凹唇壁蜂卵、幼虫、蛹在巢管内发育,从幼虫期只能取食亲代取回的带有农药残留的花粉团,这种特殊的生活周期会对凹唇壁蜂其他阶段产生直接影响,幼虫阶段数量的下降或许对蜂群健康的影响更为严重(Decourtye and Devillers, 2010)。目前新烟碱类杀虫剂对壁蜂其他发育阶段有何影响仍需进一步探明。

目前大部分的研究集中在意大利蜜蜂,在我国作为北方重要的授粉昆虫中华蜜蜂、熊蜂 *Bombus*、壁蜂 *Osmia* 则少有研究(蔺哲广等, 2014)。可以确定的是,高剂量的新烟碱类杀虫剂会导致壁蜂急性中毒死亡,但还面临着一系列问题亟待以后去解决。比如噻虫嗪、吡虫啉、噻虫胺混合使用后会导致蜜蜂

的控制姿势困难(Fischer *et al*., 2014),而接触混剂对壁蜂有何影响仍需探明。其次,田间长期施药对非靶标昆虫影响的研究也很缺乏。程燕等开展的毒死蜱和吡虫啉对西方蜜蜂慢性毒性的实验发现它们的慢性毒性均比急性毒性高,长期低浓度接触农药而引起的慢性中毒,会减弱蜜蜂的趋光性,从而对爬行、飞行等行为造成不可逆的损伤(程燕等, 2016; 张宝兰等, 2017)。因此,不仅要进行蜜蜂急性毒性测试与评估,还需考虑较低浓度农药对蜜蜂的亚致死效应评估以及慢性毒性累积效应评估。目前国内外的蜜蜂急性毒性测试技术已经很完善,但慢性毒性测试技术仍处于探究摸索阶段。在今后应关注其长远发展,并对新烟碱类杀虫剂的长期慢性毒性开展风险评估。

参考文献(References)

Callahan CA, Skirazi MA, Neuhauser EF, 1994. Comparative toxicity of chemicals to earthworms. *Environ. Toxicol. Chem*., 13(2): 291 - 298.

Chauzat MP, Carpentier P, Martel AC, Bougeard S, Cougoule N, Porta P, Lachaize J, Madec F, Aubert M, Faucon JP, 2009. Influence of pesticide residues on honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony health in France. *Environ. Entomol*., 38(3): 514 - 523.

Cheng Y, Tan LC, Bu YQ, Ge CN, Zhou JY, Shan ZJ, 2016. Chronic oral toxicity of chlorpyrifos and imidacloprid to adult honey bees (*Apis mellifera* L.). *Asian J. Ecotoxicol*., 11(2): 715 - 719. [程燕, 谭丽超, 卜元卿, 葛春男, 周军英, 单正军, 2016. 毒死蜱和吡虫啉对意大利工蜂(*Apis mellifera* L.)的慢性经口毒性. 生态毒理学报, 11(2): 715 - 719]

Cui L, Zhang J, Qi HL, Wang QQ, Lu YH, Rui CH, 2016. Monitoring and mechanisms of imidacloprid resistance in *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphidiidae) in the main cotton production areas of China. *Acta Entomol. Sin*., 59(11): 1246 - 1253. [崔丽, 张靖, 齐浩亮, 王芹芹, 陆宴辉, 芮昌辉, 2016. 我国棉花主产区棉蚜对吡虫啉的抗性监测及抗性机理. 昆虫学报, 59(11): 1246 - 1253]

Decourtye A, Devillers J, 2010. Ecotoxicity of neonicotinoid insecticides to bees. In: Thany SH ed. Insect Nicotinic Acetylcholine Receptors, Springer New York. 85 - 95.

Ding N, Xin XG, Zhou XH, Men XY, Yu Y, 2013. Effects of body weight and feeding on the flight capacity of adults of *Osmia excavata* (Hymenoptera: Megachilidae). *Acta Entomol. Sin*., 56(8): 884 - 889. [丁楠, 辛星光, 周仙红, 门兴元, 于毅, 2013. 凹唇壁蜂成蜂体重与取食对其飞行能力的影响. 昆虫学报, 56(8): 884 - 889]

El Hassani AK, Dacher M, Gary V, Lambin M, Gauthier M, Armengaud C, 2008. Effects of sublethal doses of acetamiprid and thiamethoxam on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). *Arch. Environ. Con. Tox*., 54(4): 653 - 661.

Elbert A, Haas M, Springer B, Thielert W, Nauen R, 2008. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Manag. Sci*., 64(11): 1099 - 1105.

EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2000. Guidelines for the efficacy evaluation of plant protection products. PP1/170(4): Side effects on honeybees. *IOBC/WPRS Bull*., 23: 51 - 55.

Fischer J, Mueller T, Spatz AK, Greggers U, Gruenewald B, Menzel R, 2014. Neonicotinoids interfere with specific components of navigation in honeybees. *PLoS ONE*, 9(3): e91364.

Kunz N, Frommberger M, Dietzsch AC, Wirtz IP, Stähler M, Frey E, Illies I, Dyrba W, Alkassab A, Pistorius J, 2015. Neonicotinoids and bees: a large scale field study investigating residues and effects on honeybees, bumblebees and solitary bees in oilseed rape grown from clothianidin-treated seed. *Julius-Kühn-Archiv*, 450: 155 - 158.

Ladurner E, Bosch J, Kemp WP, Maini S, 2008. Foraging and nesting behavior of *Osmia lignaria* (Hymenoptera: megachilidae) in the presence of fungicides: cage studies. *J. Econ. Entomol*., 101(3): 647 - 653.

Li BB, Hou CS, Diao QY, 2016. Neonicotinoid pesticides severely affect honeybee. *Apic. China*, 67(8): 31 - 35. [李贝贝, 侯春生, 刁青云, 2016. 新烟碱类农药对蜜蜂的危害. 中国蜂业, 67(8): 31 - 35]

Li M, He JF, Li ZG, Su SK, 2017. The effects of sucrose behavior responses on *Apis cerana cerana* by neonicotionid insecticides. *Apic. China*, 68(4): 20 - 22. [李梦, 和静芳, 李志国, 苏松坤, 2017. 新烟碱类杀虫剂对中华蜜蜂蔗糖反应行为的影响. 中国蜂业, 68(4): 20 - 22]

Lin ZG, Meng F, Zheng HQ, Zhou T, Hu FL, 2014. Effects of neonicotinoid insecticides on honeybee health. *Acta Entomol. Sin*., 57(5): 607 - 615. [蔺哲广, 孟飞, 郑火青, 周婷, 胡福良, 2014. 新烟碱类杀虫剂对蜜蜂的影响. 昆虫学报, 57(5): 607 - 615]

Meng LF, 2013. Effects of Imidacloprid on Activities of Detoxifying Enzymes and Development on *Apis mellifera*. MSc Thesis, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing. [孟丽峰, 2013. 吡虫啉对蜜蜂解毒酶和生长发育的影响. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文]

Sgolastra F, Tosi S, Medrzycki P, Porrini C, Burgio G, 2015. Toxicity of spirotetramat on solitary bee larvae, *Osmia cornuta* (Hymenoptera: Megachilidae), in laboratory conditions. *J. Apic. Sci*., 59(2): 73 - 83.

Tosi S, Burgio G, Nieh JC, 2017. A common neonicotinoid pesticide, thiamethoxam, impairs honey bee flight ability. *Sci. Rep*., 7(1): 1201.

Wang YH, Chen LP, Zhao XP, Wu CX, Cang T, Yu RX, Wu SG, Wang Q, 2010. Acute toxicity of neonicotinoids and avermectins to earthworm, *Eisenia foetida*. *J. Agro-Environ. Sci*., 29(12): 2299 - 2304. [王彦华, 陈丽萍, 赵学平, 吴长兴, 苍涛, 俞瑞鲜, 吴声敢, 王强, 2010. 新烟碱类和阿维菌素类药剂对蚯蚓的急性毒性效应. 农业环境科学学报, 29(12): 2299 - 2304]

Wei SW, Wang Y, Wang HW, Zhang Y, Wang SM, 2012. Preliminary study of fruit setting rate of pear by mason bees and artificial pollination. *Decid. Fruits*, 44(3): 5 - 6. [魏树伟, 王越, 王宏伟, 张勇, 王少敏, 2012. 壁蜂授粉加人工授粉对砀山酥梨坐果率的影响研究初报. 落叶果树, 44(3): 5 - 6]

Wei YP, Yuan F, Zhang YL, 2000. Flower visiting habits and the essential number of *Osmia excavata* Alfken for economic apple production. *Acta Univ. Agric. Bor.-occid.*, 28(5): 76 - 79. [魏永平, 袁锋, 张雅林, 2000. 凹唇壁蜂的访花习性及必要放蜂量. 西北农业大学学报, 28(5): 76 - 79]

Williamson SM, Wright GA, 2013. Exposure to multiple cholinergic pesticides impairs olfactory learning and memory in honeybees. *J. Exp. Biol.*, 216(10): 1799 - 1807.

Xu HL, Zhou WR, Wei SG, Wang T, Wu YR, 1994. Biological study on pollinators of fruit trees - *Osima jacoti*, *Osima excavata*. *J. Fruit Sci.*, 11(3): 153 - 156. [徐环李, 周伟儒, 魏枢阁, 王涛, 吴燕如, 1994. 果树授粉昆虫——紫壁蜂、凹唇壁蜂生物学研究. 果树科学, 11(3): 153 - 156]

Yu CH, Sui JY, Zhang Y, Qu MM, Zhou XX, Zhou YM, Qu WG, Jiang H, 2017. Acute toxicity evaluation of thirteen pesticides on silkworm. *Agrochemicals*, 56(5): 344 - 347. [于彩虹, 隋婧怡, 张燕, 曲萱萱, 周欣欣, 周艳明, 瞿唯钢, 姜辉, 2017. 13 种农药对家蚕的急性毒性. 农药, 56(5): 344 - 347]

Yuan SK, Xu H, Qu WG, Shan ZJ, Bu YQ, Yan QP, Wang HL, 2014. GB/T 31270.10-2014. Test Guidelines on Environmental Safety Assessment for Chemical Pesticides, Part 10: Acute Toxicity Test of Bees. Standards Press of China, Beijing. [袁善奎, 徐晖, 瞿唯钢, 单正军, 卜元卿, 严清平, 王会利, 2014. GB/T 31270.10 - 2014. 化学农药环境安全评价试验准则. 第 10 部分: 蜜蜂急性毒性试验. 北京: 中国标准出版社]

Zhang BL, Chen CQ, Zhang HT, Lin F, He HJ, Sun GP, 2017. The toxicity effects of abamectin on honeybees (*Apis mellifera* L.). *Asian J. Ecotoxicol.*, 12(4): 174 - 182. [张宝兰, 陈翠群, 张宏涛, 林锋, 何海坚, 孙国萍, 2017. 阿维菌素对意大利蜜蜂(*Apis mellifera* L.)的毒性影响. 生态毒理学报, 12(4): 174 - 182]

Zhao YN, Gao JL, Wang YJ, Liu JF, Zhao DX, 2014. Acute toxicity and hazard assessment of neonicotinoid insecticides on *Apis cerana hainana*. *Agrochemicals*, 53(3): 206 - 209. [赵怡楠, 高景林, 王玉洁, 刘俊峰, 赵冬香, 2014. 新烟碱类农药对海南中蜂的急性毒性测定及风险评估. 农药, 53(3): 206 - 209]

Zhou H, Shao JN, Zhai YF, Wu GA, Chen H, Men XY, Yu Y, Zheng L, 2017. Toxicity and risk assessment of sulfoxaflor, spinetoram and their mixture to *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). *Acta Entomol. Sin.*, 60(7): 809 - 816. [周浩, 邵莒南, 翟一凡, 吴光安, 陈浩, 门兴元, 于毅, 郑礼, 2017. 氟啶虫胺腈、乙基多杀菌素及其混剂对地熊蜂的毒性及风险评估. 昆虫学报, 60(7): 809 - 816]

(责任编辑: 赵利辉)